

Émetteur : R. ALLIER

Date : 21/1/2013

Direction / service : ELABORATION

Réf. 482

Date de la réunion : 21/1/2013

Participants : AD : M^{elle} ESCAFFRE, MM. ALLIER, DELABORDE, HERITIER, MORGEN, POISSON

UBC : Pr. Alec MITCHELL

Lieu : UKAD

Destinataire(s) : Les participants

Copie(s) :

Objet : Echange avec le Professeur Alec MITCHELL sur le projet EcoTitanium

A l'occasion du déplacement en France du Professeur MITCHELL, nous avons souhaité avoir ses premiers commentaires sur notre projet EcoTitanium.

En annexe la présentation fait et qui a servit de support aux discussions, qui sont résumées ci-dessous.

1 – Préparation des chutes

Pr. MITCHELL s'étonne de voir que nous allons confier la préparation des chutes (tri / contrôle / broyage et dégraissage pour les copeaux / meulage, sciage, grenailage pour les massifs) a un sous-traitant. En effet pour lui, c'est une **phase cruciale du process** et qui demande des compétences, une très grande rigueur et une constance. Selon lui, la décision de sous-traiter cette préparation est stratégique pour la réussite du projet.

Pr. MITCHELL nous rappelle que TIMET gère lui même cette phase pour la maîtriser.

Pour revenir sur l'aspect compétence, Pr. MITCHELL estime que la plus précise des spécifications ne remplace pas l'analyse au cas par cas des chutes massives à préparer, le savoir-faire d'élimination des défauts (criques notamment), et la compréhension de l'impact de la préparation sur la qualité lingot. Les opérateurs de tri doivent donc être compétents et impliqués dans le process complet.

Pour les chutes massives, Pr. MITCHELL nous confirme qu'il est possible d'utiliser le meulage, mais ce dernier ne doit pas générer de brûlures du métal, sous peine d'avoir une oxydation / nitruration tout aussi pénalisante que le défaut éliminé. D'autre part, toutes les parties qui ont été refondues (ex.: bavures de torche) sont de loin les plus nocives; en effet, la nitruration du titane intervient principalement à l'état liquide et ces nitrures sont difficilement remis en solution contrairement aux oxydes qui se forment sur le titane solide à haute température mais se dissolvent très facilement.

Pour les copeaux, Pr. MITCHELL nous conseille d'utiliser un dégraissage par savons, mais il insiste sur la nécessité d'utiliser un lavage eau chaude, avec des mélangeurs type bétonnière.

2 – Process élaboration Plasma

Pr. MITCHELL a insisté sur les nuances que nous souhaitons faire avec ce process. Si nous élaborons uniquement du TA6V, alors la refusion VAR convient après une fusion plasma. Par contre, si nous souhaitons faire des alliages de titane beaucoup plus chargés, alors l'idéal serait de faire la seule fusion plasma, car la refusion VAR génère des défauts de solidification type B-flecks.

Philippe HERITIER a confirmé qu'EcoTitanium élaborerait du TA6V pour application aéronautique, marché qui demande une refusion VAR.

Nous avons présenté au Pr. MITCHELL notre proposition d'enfournement des chutes massives, qui consiste à les positionner dans des caisses consommables en titane CP. C'est une solution qui est utilisée par VSMPO et TIMET, mais qui revient chère. Signalons que nous avons tenu compte de ce coût dans le modèle économique. Pr. MITCHELL insiste surtout sur le risque d'affailement d'une chute massive dans le creuset de fusion, ce qui va entraîner une vague jusqu'au niveau de la lingotière, avec un risque de replis sur la peau de l'électrode. Par ailleurs, il faut que la composition chimique de toutes les boîtes soit identique, mais en plus il faut que chaque section de chaque boîte soit à la bonne composition chimique → il faut considérer qu'il n'y a pratiquement pas d'homogénéisation dans le four Plasma : la composition de la section de la boîte qui est fondue se retrouve dans la couche de l'électrode en cours de remplissage.

Au niveau des éponges utilisées, Pr. MITCHELL insiste sur la qualité, plus précisément sur l'homogénéité en Fer, Nickel et Cuivre. Il n'est pas rare, même pour les éponges d'UKTMP, d'avoir des dispersions importantes sur ces éléments. C'est donc un point d'attention à avoir. Il convient de procéder à des contre analyses de réception. D'autre part, des teneurs en Mg-Cl trop élevées peuvent détériorer le système de recyclage de l'hélium.

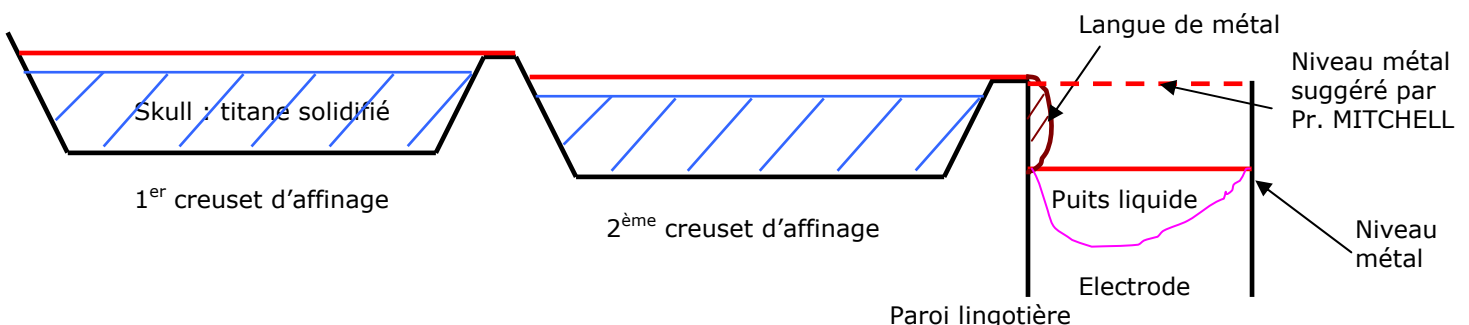
Au sujet des éléments d'alliages qui sont additionnés aux copeaux et aux éponges, le Pr. MITCHELL nous a parlé de l'apport en oxygène par le TiO₂. Les quantités de TiO₂ à additionner étant très faibles, il est difficile d'avoir une répartition homogène dans toute la charge. Pour faciliter l'apport en oxygène, il nous préconise d'utiliser de la poudre de Titane traitée (attaque acide). Cette poudre amène beaucoup moins d'oxygène (environ 5%), donc il faut en mettre des quantités plus importantes, ce qui facilite une répartition homogène dans la charge.

Pour ce qui est de l'enfournement des copeaux (briquetés avec les éponges et les master alloys), le Pr. MITCHELL attire notre attention sur les phénomènes de ségrégation qui sont liés aux trémies horizontales vis sans fin. Le briquetage s'avère donc primordiale pour éviter ce phénomène.

Pour les caractéristiques du four plasma, Pr. MITCHELL signale simplement qu'il faut disposer d'une réserve de puissance aux niveaux des torches. En effet, pour maintenir une vitesse de coulée régulière, et compte tenu de la taille des chutes massives, il faut être en mesure d'augmenter la puissance dans la zone de fusion pour garder stable le flux de métal liquide. Cependant selon Pr. MITCHELL, le fait d'avoir une refusion VAR par la suite permet d'avoir des variations de vitesse de l'ordre de 10%, sans problème associé.

A notre question sur la forme du creuset d'affinage (1 long creuset ou 2 creusets successifs), le Pr. MITCHELL nous confirme qu'il faut 2 creusets, afin de générer des turbulences qui favorisent l'élimination des défauts de types LDI (Low Density Inclusion). Ces LDI ont des cinétiques de décantation plus lentes que les HDI (High Density Inclusion). La turbulence des torches, associée à celle du déversement d'un creuset dans l'autre, permettent à ces LDI d'être piégés dans le skull (gange de titane figée par les parois refroidies du creuset).

Au niveau de la coulée en lingotière, Pr. MITCHELL nous explique le phénomène de « langue » de métal qui fige au niveau de la zone de déversement et qui marque la surface de l'électrode. La torche plasma située au dessus de la lingotière ne permet pas de supprimer cette langue car le dard de flamme est trop large (contrairement à un EB ou le canon à électron peut aller très prêt de la paroi refroidie de la lingotière). La solution consiste à rehausser le niveau haut de l'électrode dans la lingotière.



A noter que la profondeur de bain liquide dans les creusets est d'environ 5 mm.

Nous avons ensuite abordé les paramètres pour obtenir une bonne surface d'électrode. Tout d'abord, il faudrait que les constructeurs proposent des mouvements de tirage du lingot se rapprochant de ceux pratiqués en coulée continue. En effet, ces mouvements oscillants permettent d'obtenir de bons états de surface. Or pour obtenir ces mouvements, le pilotage hydraulique du tirage ne le permet pas. Pr. MITCHELL nous suggère de demander à nos fournisseurs de superposer à ce tirage hydraulique un pilotage électromécanique, pour avoir un mouvement oscillant.

L'autre paramètre qui favorise la qualité de peau est la durée de rotation de la torche plasma située au dessus de la lingotière. Il faut que la torche réalise le tour de la périphérie de la lingotière en un temps relativement court, afin de garder le métal liquide sur ce périmètre. Le Pr. MITCHELL estime qu'il faut que la torche parcoure ce périmètre en moins de 15 s. Si ce n'est pas possible, il faut prévoir 2 torches pour cette zone !

Nous avons aussi discuté sur l'entretien d'un four plasma. Pour le Pr. MITCHELL un four plasma demande une maintenance beaucoup plus exigeante qu'un four EB ; cette maintenance doit être irréprochable. Pour cela, Pr. MITCHELL nous conseille de mettre en place une maintenance autonome poussée (niveau opérateur), ceci pour avoir une réaction immédiate vis-à-vis des pannes « simples », les techniciens de maintenance se consacrant à traiter les problèmes plus compliqués.

Le Pr. MITCHELL nous a aussi alertés sur le problème majeur des fours plasma, à savoir les fuites d'eau au niveau de la cathode des torches. Ces cathodes étaient auparavant en tungstène, mais compte tenu des risques de passage dans le bain d'éléments en tungstène (interdit en aéronautique), ces cathodes sont désormais en cuivre refroidi à l'eau. Or sur les torches plasma de fortes puissances (cas pour notre projet), la concentration d'énergie sur ces cathodes en cuivre peut créer un trou, provoquant alors le passage d'eau dans le four. La conséquence immédiate est la possibilité de destruction de l'unité de purification hélium, ainsi que l'endommagement du four lui-même. C'est pourquoi le Pr. MITCHELL nous conseille de prendre toutes les garanties possibles auprès du fournisseur.

3 – Process VAR

La méthode de soudage du stub retenue jusqu'à présent consiste à réaliser cette opération dans le four VAR. Pour ce faire, le Pr. MITCHELL nous rappelle qu'une fois la soudure réalisée, il faut sortir l'électrode et nettoyer la lingotière et la tête du four, pour être sûr qu'il n'y a pas de risque pollution.

Il nous suggère deux autres solutions :

- Réalisation d'une soudure à l'air. Cette solution nécessite alors l'accord de cette pratique par nos clients, avec un engagement de laisser une galette de refusion d'épaisseur suffisante.
- Réaliser une dérivation de la puissance d'un four VAR sur une installation annexe qui réalisera le soudage du stub. Cette solution à l'avantage de ne pas demander de groupes de puissance supplémentaires, puisque l'on utilise ceux d'un four VAR. Attention cette solution nécessite des équipements de dérivation parfaitement entretenus, sous peine de détruire le four. CONSARC a livré un tel équipement à TIMET.

Le soudage du stub doit être bien réalisé car il participe à la bonne réalisation du masselotage. En effet avec des puits liquides qui peuvent aller jusqu'à 2 m, le masselotage est primordiale sur la qualité du lingot obtenu.

Au niveau des longueurs d'arc sur les nuances titane, le Pr. MITCHELL nous confirme que les élaborateurs travaillent avec de grandes longueurs d'arc, de l'ordre 45 mm. Seul TIMET UK travaille avec des longueurs d'arc plus faibles (10 à 15 mm) sur des nuances au Silicium qui ségrégent (Ti 8-2-9).

Pour les vitesses de fusion, il y a de grandes disparités : par exemple, sur la même nuance et pour la même application, la vitesse de fusion varie de prêt de 40% entre RMI et TIMET !

Le Pr. MITCHELL nous a confirmé que le taux de remplissage idéal se situait à 50 mm (différence au rayon entre la lingotière VAR et l'électrode à refondre).

Enfin, le Pr. MITCHELL nous a donné les grandes lignes de la stratégie de brassage VAR :

- Puissance de brassage comprise entre 50 et 60 Gauss.
- Alternance du brassage toutes les 1 à 2 minutes.

A noter que la fréquence d'alternance du brassage est un compromis entre :

- La vitesse de rotation du bain qui favorise la solidification.
- L'éloignement des arcs électriques vers la périphérie du lingot, avec un risque d'arquer avec la lingotière.

4 – Assistance technique

Nous avons posé la question au Pr. MITCHELL s'il connaissait des ingénieurs de TIMET, ATI, RTI qui pourraient devenir des consultants pour ce projet. Selon lui, tous ces techniciens sont tenus par des accords de non concurrence, donc il sera difficile de trouver quelqu'un.

Au niveau études R&D, le Pr. MITCHELL nous conseille de travailler avec l'équipe de l'Institut Jean Lamour qui doit être en mesure de transposer son expertise technique VAR sur le plasma.

Par ailleurs, il nous conseille d'utiliser un logiciel spécifique qui permet :

- De prédire les conditions de solidification VAR.
- De prédire les concentrations en éléments d'alliage (Fer, Oxygène ou Aluminium).
- D'indiquer les chutages nécessaire au process aval.

Selon le Pr. MITCHELL ce logiciel commercial (Meltflow-VAR/Sté Innovative Research Inc), simple d'utilisation, a été validé par la plupart des élaborateurs de Titane. D'ailleurs GE et PRATT exige les résultats de ce logiciel avec les paramètres utilisés réellement, afin de valider le process. Prix de ce logiciel : 40 / 45 k\$.

Pour terminer, Philippe HERITIER a demandé au Pr. MITCHELL s'il était intéressé pour nous accompagner sur ce projet : la réponse a été positive.